DETERIORO POR CARBONATACIÓN EN CHIMENEAS DE CONCRETO REFORZADO DE PLANTA SIDERÚRGICA

C. Gaona Tiburcio[1], A. Borunda T[2]., V. Orozco C[2]., J. Lugo C[2]., J. G. Chacón[2], P. Zambrano R[1]., A. Martínez Villafañe[2], F. Almeraya Calderón[1,2]., E. A. Martínez M.[†]

[1] ***Universidad Autónoma de Nuevo León, UANL***. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, FIME ***Centro de Investigación e Innovación en Ingeniería Aeronáutica, CIIIA***
Carretera a Salinas Victoria Km. 23. Apocada. Nuevo León. México.

[2] ***Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S. C*** / Grupo Corrosión
Miguel de Cervantes # 120, Complejo Industrial Chihuahua. Chihuahua, Chih., México.
E-mail: citlalli.gaonac@uanl.mx; citlalli.gaona@gmail.com

[†] *Este trabajo es dedicado a la memoria del Dr. Enrique A. Martínez Martínez*

RESUMEN

En el presente trabajo se realizo la inspección y monitoreo por corrosión en una estructura de concreto reforzado (Chimeneas en Ambiente Marino). Las técnicas empleadas en el estudio fueron: R*esistencia a la Polarización Lineal* en lo que respecta a la cinética y M*edición de Potenciales* para la parte termodinámica; así como la medición de la *Resistividad del suelo* en diversas zonas de la estructura. Las chimeneas tienen una altura de 80 y 120 m y se encuentran en ambiente marino. Adicional a las pruebas de corrosión se realizaron análisis por carbonatación y % de cloruros. Se llego a la conclusión que los potenciales de corrosión presentan incertidumbre bajo el criterio de ASTM C876 y con la referencia de DURAR hay corrosión localizada y el riesgo de daño es de moderado a alto. En cuanto al nivel de corrosión es elevado en ciertas zonas y niveles. La carbonatación es elevada y en nivel de cloruros es bajo.

Palabras Clave: Corrosión, Monitoreo, Estructuras, Carbonatación, Cloruros.

Abstract

In this paper, performed the inspection and monitoring of corrosion in reinforced concrete structures (chimneys in marine environment). The techniques used in the study were: Linear Polarization Resistance for the kinetics, and measurement of Potentials for the thermodynamics. We also measured the soil resistivity in several areas of the structure. The chimneys have a height of 80 and 120 m, in the marine environment. In addition to the corrosion tests were performed carbonation and chlorides analysis. It was concluded that the potentials have uncertainty under the criteria of ASTM C876, and with reference to "Red Durar", have localized corrosion and moderate to high damage risk. The corrosion level is high in certain areas and levels. Carbonation is high and chloride level is low.

key words: Corrosion, monitoring, Structures, Carbonation, Chlorides.

ISBN: 978-607-7912-24-8

INTRODUCCIÓN.

El concreto armado es uno de los materiales más usados en la construcción, para la elaboración de muchas estructuras como pueden ser: elementos estructurales de edificación e Infraestructura, Puentes de concreto, Muros de contención, Uso Concreto armado en Túneles, Pavimentos Rígidos, Obras de drenaje, etc. [1]:

Hoy en día en México los diseños de dichas estructuras se basan en mecanismos de fallas dúctiles generados por distintos esfuerzos en las estructuras. Sin embargo, dichas estructuras están sometidas otros factores distintos a los que fueron diseñadas, los cuales de una u otra forma afectan en la vida útil de la misma, deteriorando tanto el concreto como el acero que la componen. El desconocimiento de cómo afectan estos factores a la estructura puede conducir a problemas críticos de corrosión y degradación en el interior concreto armado, lo que puede producir daños irreparables como pueden ser: Grietas, Vibraciones, Deformaciones y Colapsos. [2-3]:

Es importante tener conocimiento algunos de los distintos factores que pueden afectar la vida útil de una estructura de concreto, y los daños producidos pueden ocasionar grandes pérdidas económicas, humanas y materiales.

El objetivo de este trabajo fue realizar una Inspección, Evaluación y diagnostico de Corrosión en estructuras de concreto reforzado (chimeneas de la industria Siderúrgica), en Lázaro Cárdenas, Michoacán.; empleando técnicas electroquímicas de resistencia a la polarización y potenciales de corrosión así como pruebas químicas como carbonatación y % de cloruros.

METODOLOGIA EXPERIEMNTAL

El alcance de este trabajo se baso inspeccionar las chimeneas y definir los sitios a evaluar, posteriormente se realizaron pruebas de corrosión y químicas en las zonas de interés acordadas con la empresa afectada.

El alcance del proyecto solo contempla los sitios marcados en la figura 1.

a) Evaluación por corrosión en las zonas acordadas
b) Técnicas a emplear: Mapeo de potenciales de corrosión ASTM C876, Técnica de resistencia a la polarización, Rp. ASTM G59, Determinación de Cloruros y Carbonatación y Medición de pH del concreto.

Se acordó llevar a cabo el monitoreo de corrosión en los niveles 0.0-2 y 25-27 m. para la chimenea de peletizado y en el nivel 4-6 m. y 30-32 m. para la chimenea de la coquizadora.

ISBN: 978-607-7912-24-8

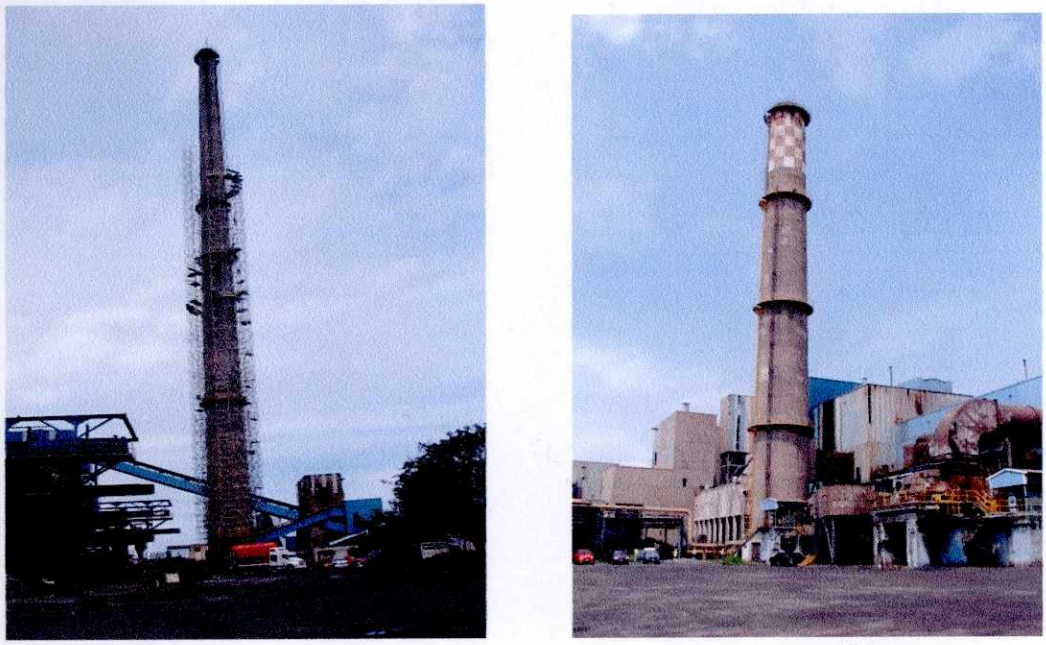
1. RESULTADOS

Inspección a la estructura:

Durante la inspección preliminar se reviso la chimenea de la planta Peletizadora de la empresa siderurgica. La cual cuenta con 35 años de operación.

En la Chimenea, se encontró que hay zonas con deterioros bastante severos, donde el concreto presenta una mala calidad, además de observarse corrosión en la varilla de acero, cuando el concreto ya no sirve como barrera protectora (foto 1).
Del nivel 0.0 m. se observan deterioros en el concreto, teniendo principalmente agrietamientos en el mismo. A partir de la primer plataforma (aproximadamente 25 m.) los deterioros del concreto y de la varilla de acero se ven más notorios, además se puede ver que existe un mayor deterioro y desprendiendo del concreto en el lado Sur y Oriente, siendo menor en la zona norte (ver foto 2).

La chimenea ha tenido varias reparaciones en el concreto a través de parcheos, los cuales se realizaron a raíz del desprendimiento del concreto como consecuencia de las condiciones climatológicas prevalecientes en la región; temperatura, humedad relativa y presencia de gases de los procesos.



a) b)

Figura 1. a) Chimenea de la planta de Coque y b) Chimenea de la planta de Peletizado.

ISBN: 978-607-7912-24-8

En la chimenea de la coquizadora, se encontró que el concreto no es de muy buena calidad, existen muchos agrietamientos en la estructura, se observa desconchamiento del concreto, en algunas zonas hay presencia de corrosión.

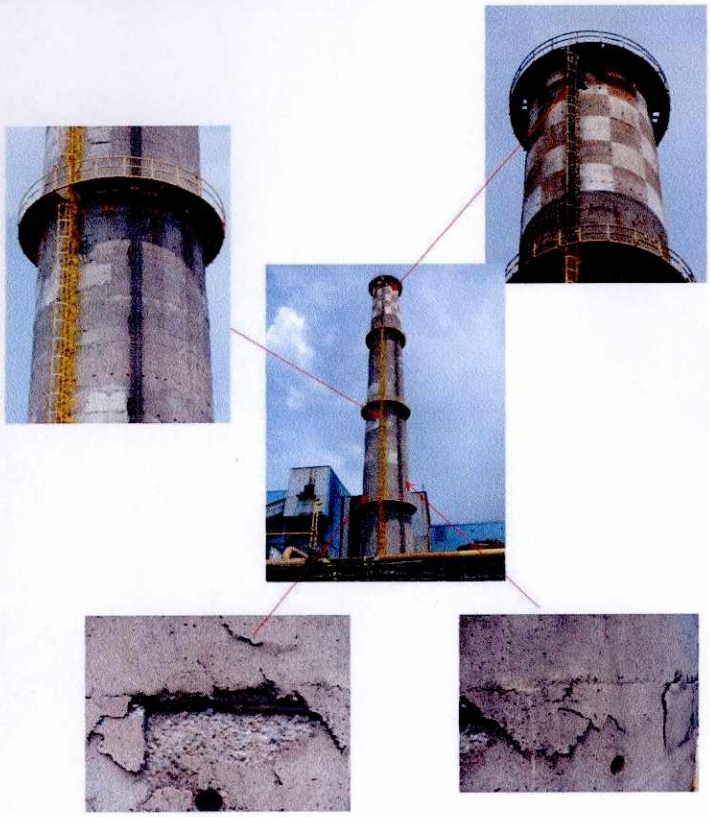


Foto 1. Deterioros en la Chimenea de la Planta Peletizadora

Foto 2. Chimenea de la planta Peletizado, deterioros generales en función de los puntos cardinales

ISBN: 978-607-7912-24-8

En la foto 3, se puede observar que cuando se realizo un orificio a la chimenea (nivel 4 m.) la varilla presenta oxidación, debido a la temperatura de los gases y por otro lado las condiciones climatológicas de la región.

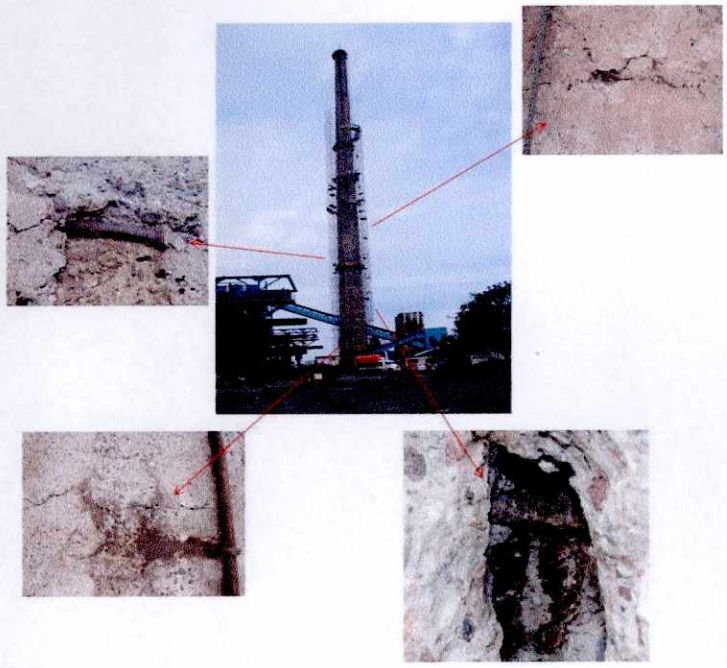


Foto 3. Deterioros en la Chimenea de la Planta Coquizadora

Potenciales de Corrosión:

La interpretación de los potenciales de corrosión se realiza con base a la norma ASTM C-876 [4] ver tabla 1.

Tabla 1. Potenciales de corrosión con base a ASTM C-876

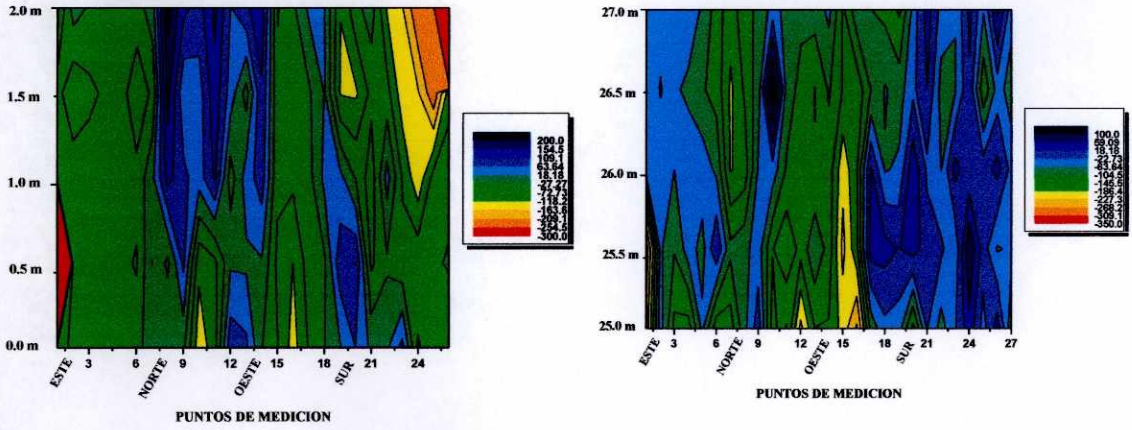
Potencial E_{corr} (mV)	Riesgo de Daño
< -200	10 % de probabilidad de corrosión
-200 a -350	Cierta incertidumbre
> -350	90 % de probabilidad de corrosión

El análisis de los diagramas de isopotenciales obtenidas durante el monitoreo por corrosión a las chimeneas, se realizó de acuerdo a los criterios de evaluación establecidos por la norma ASTM C-876 y a criterios establecidos por organismos internacionales como el DURAR [4-5].

ISBN: 978-607-7912-24-8

En el Nivel 0.0 – 2 m. (gráfica 1) se tienen potenciales entre +100 y -120 mV del nivel cero hasta los 2 m de altura, cubriendo los 4 puntos cardinales (Norte, Este, Sur y Oeste). Estos potenciales se encuentran en un grado de 10 % de probabilidad de corrosión, de acuerdo con el criterio de ASTM C876. Y solamente en la altura de los 2 m. en el lado Sur 1 m en el lado Este, se tienen potenciales por debajo de los -250 mV teniendo incertidumbre en estas zonas, como lo indica ASTM C876.

En la gráfica 1, Nivel 25 - 27 m. se tiene potenciales positivos entre +20 y -150 mV, lo cual indicaría que el acero esta pasivado representando solamente un 10 % de probabilidad de corrosión, conforme ASTM C876. Pero hay valores del potencial que están por debajo de los -250 mV situados en el lado Oeste.



a) b)

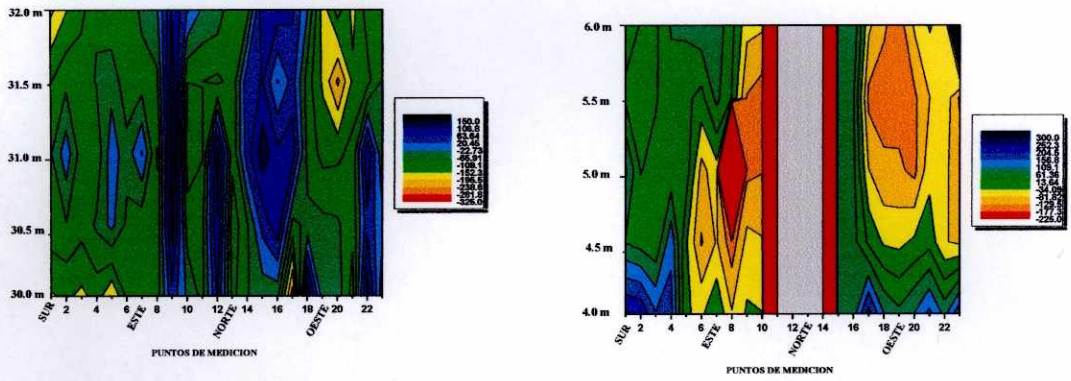
Grafica 1. Isopotenciales de Corrosión de la Chimenea de la Planta Peletizadora. a) Nivel 0.0 – 2 m. y b) 25 -27 m.

En las gráficas 3, se pueden observar los diagramas de isopotenciales para la Chimenea de la planta Coquizadora.

En el Nivel 4-6 m. (gráfica 2) se tienen potenciales entre +10 y -250 mV. Del nivel 4 m. hasta los 6 m de altura, cubriendo casi todos los 4 puntos cardinales (Norte, Este, Sur y Oeste). Estos potenciales se encuentran en un grado de 10 % de probabilidad de corrosión a incertidumbre, de acuerdo con el criterio de ASTM C876. Y solamente en el lado Sur 1 m, se tienen potenciales por debajo de los -250 mV teniendo 90% de probabilidad de corrosión en estas zonas, como lo indica ASTM C876.

En la gráfica 3, Nivel 30-32 m. se tiene potenciales desde -20 hasta -350 mV, lo cual indicaría que el acero esta ya está activo representando incertidumbre y 90% de probabilidad de corrosión, conforme ASTM C876.

ISBN: 978-607-7912-24-8



a) **b)**

Grafica 3. Isopotenciales de Corrosión de la Chimenea de la Planta Coquizadora. a) Nivel 4 – 6 m. y b) Nivel 30 - 32 m.

Velocidad de Corrosión:

La medición de la velocidad de corrosión se realizo con el Gecor 6 y la interpretación de la velocidad de corrosión es en base a la i_{corr}.(ver tabla 2).

Tabla 2. Interpretación de la i_{corr} de corrosión en concreto (DURAR) [5].

I_{corr} (µA/cm^2)	Nivel de Corrosión
< 0.1	Despreciable
0.1-0.5	Moderado
0.5-1	Elevada
>1	Muy elevada

El nivel de corrosión es considerado despreciable, de acuerdo a los valores de la velocidad de corrosión, ya que esta dentro del intervalo de < 0.1 µA/cm^2 en la mayoría de todos los sitios; excepto el Nivel 0.0 (piso) cercano al silo 12, donde se tuvo un nivel de corrosión moderado por encontrarse en un intervalo de 0.1 – 0.5 µA/cm^2.

El nivel de corrosión es considerado moderado en la Chimenea de Peletizado, ya que esta dentro del intervalo de 0.1 – 0.5 µA/cm^2. En la mayoría de todos las zonas y niveles; excepto el Nivel 0.5 m (nivel piso, lado Este), se tuvo un nivel de corrosión elevado por encontrarse en un intervalo de 0.5-1 µA/cm^2. [5-6].

En la tabla 4, se puede observar que el nivel de corrosión es muy irregular, dado que en la primer plataforma a 4-6 m hay valores desde despreciables (< 0.1 µA/cm^2). Hasta moderado

ISBN: 978-607-7912-24-8

(0.1 – 0.5 $\mu A/cm^2$). En el nivel 30-32 m, el riesgo de corrosión es mayor ya que hay valores de moderado (0.1-0.5 $\mu A/cm^2$) hasta elevado (0.5-1 $\mu A/cm^2$).

Tabla 3. Valores de Velocidad de corrosión en diversas zonas y niveles de la chimenea de la Planta de Peletizadora.

Zona	Nivel (m)	Sitio / Icorr (µA/cm2)			
		Este	Sur	Norte	Oeste
1	0.5	0.923 elevado	0.152 moderado	0.008 despreciable	0.136 moderado
	1	0.328 moderado	0.258 moderado	S/D	0.088 despreciable
2	25	0.130 moderado	0.155 moderado	0.343 moderado	0.163 moderado
	25.5	0.230 moderado	0.181 moderado	0.177 moderado	0.296 moderado

Tabla 4. Valores de Velocidad de corrosión en diversas zonas y niveles de la chimenea de la Planta Coquizadora.

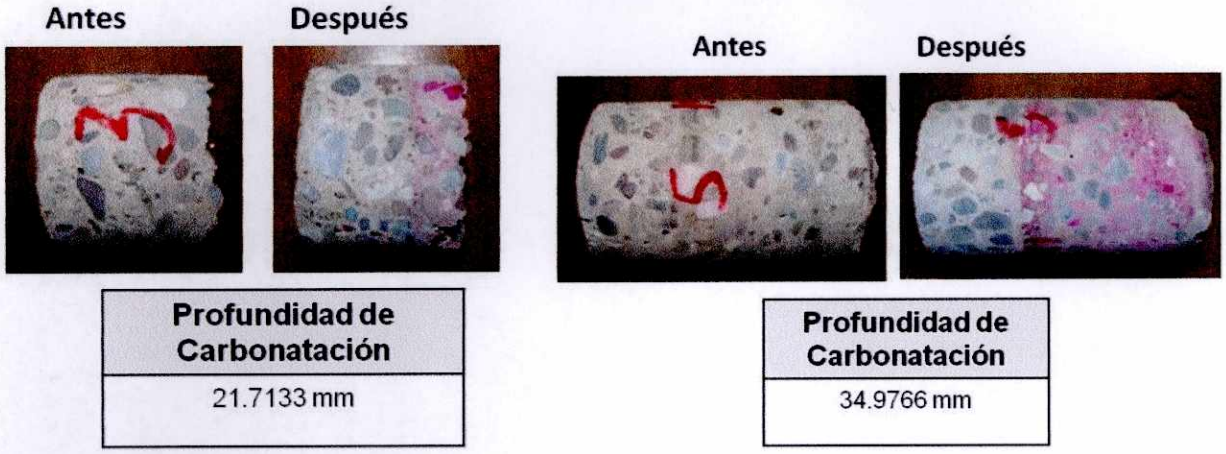
Zona	Nivel (m)	Sitio / Icorr (µA/cm2)			
		Este	Sur	Norte	Oeste
1	4	0.041 despreciable	0.117 moderado	S/D	0.063 despreciable
	4.5	0.034 despreciable	0.101 moderado	S/D	0.031 despreciable
2	30	0.254 moderado	0.399 moderado	0.950 elevado	0.124 moderado
	30.5	0.163 moderado	0.807 elevado	0.400 moderado	0.130 moderado

Los niveles de corrosión que se presentaron se consideran en su gran mayoría desde moderado hasta elevado en algunos casos moderados en las zonas y niveles donde se realizaron las mediciones. En los niveles más altos de cada una de las chimeneas el concreto se ve dañado, como consecuencia de la dirección de los vientos predominantes.

Carbonatación:

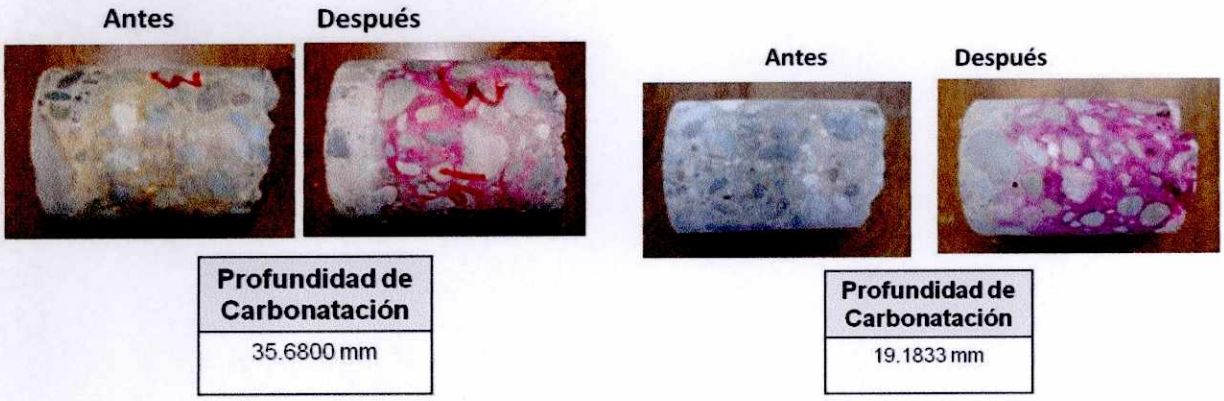
La profundidad de carbonatación obtenida (por medio del método de la fenolftaleína) de los testigos evaluados en diferentes zonas y alturas de la estructura, presenta problemas de carbonatación. Estos resultados indican que el concreto ya no cuenta con propiedades adecuadas para detener los agentes agresivos del ambiente. De acuerdo a los valores de pH obtenidos en algunas muestras de concreto indican una disminución de pH 13 a pH 8-9.

ISBN: 978-607-7912-24-8



a) b)

Foto 4. Profundidad de Carbonatación. Chimenea Peletizadora (Nivel Base), a)Testigo 3 y b) Testigo 5.



a) b)

Foto 5. Profundidad de Carbonatación. Chimenea Coquizadora (Nivel 4-6 m.), a)Testigo 3 y b) Testigo 10

Porciento de Cloruros:

Los valores obtenidos de los cloruros en los diferentes sitios de la estructura, no rebasan no rebasan el 0.15 % de los mismos. Por lo cual la estructura no es afectada por este tipo de agentes corrosivos [7].

CONCLUSIONES

- En términos de "durabilidad" la estructura se encuentra en condiciones desfavorables para desempeñar las funciones para las que fue construida por estar carbonatada.

ISBN: 978-607-7912-24-8

- Los potenciales de corrosión de acuerdo con ASTM C-876, se tiene incertidumbre y bajo los criterios de DURAR representa una corrosión localizada y el riesgo de daño es de moderado a alto.
- El nivel de corrosión es considerado elevado en ciertas zonas.
- La profundidad de carbonatación obtenida de los testigos indican que la mayoría de las estructura, presenta problemas de carbonatación, por lo cual ya perdió su alcalinidad.
- Los valores obtenidos de cloruros están por debajo del límite establecido, solamente algunas muestras alcanzaron 0.1 %.

Agradecimiento.

Los autores agradecen el apoyo a la UANL y al proyecto Promep /103.5/12/3585.(UANL-PTC-562).

REFERENCIAS

1. Castro B. P y Sanjuán B. M.A. Acción de los agentes químicos y físicos sobre el concreto. IMCYC Primera Edición 2001. pp. 1-2.
2. Andrade C. (1989). *"Manual-Inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras,"* Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, España.
3. Keer J. G. (1992). Surface treatments. En *"Durability of Concrete Structures-Investigation, repair, protection,"* Mays G. (Editor), E&F Spon, Londres, Reino Unido, pp. 143-157.
4. ASTM C-876 (reapproved 1999) Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete)
5. DURAR (Manual de Inspección, Evaluación y Diagnostico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado. DURAR Red Temática XV.B Durabilidad de la Armadura. CYTED, (1997).
6. J. García, F. Almeraya, (et al) *Cem. Concr. Compos.* 34 (2012) 242-247.
7. D. Nieves M., (et al) *Corrosion* 200812; 64 (2008) 920-928

Autorización y renuncia
Los autores del presente artículo autorizan a los organizadores del 34 Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales para publicar el escrito en el libro electrónico "Memoria del 34 Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales". Los organizadores o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que está expresado en el escrito.